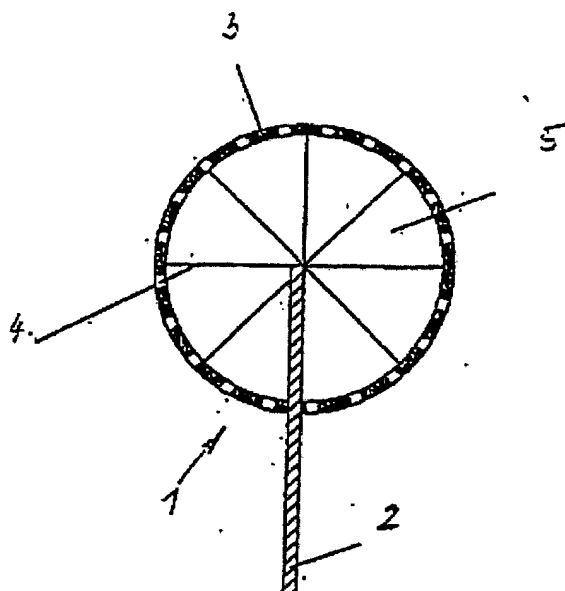


## Noise protection barrier wall

**Patent number:** DE19509678  
**Publication date:** 1996-05-30  
**Inventor:** MOESER MICHAEL PROF DR ING (DE)  
**Applicant:** MOESER MICHAEL PROF DR ING (DE)  
**Classification:**  
- **international:** G10K11/16; E01F8/00  
- **europaean:** E01F8/00A35B1; G10K11/172; E01F8/00C  
**Application number:** DE19951009678 19950307  
**Priority number(s):** DE19951009678 19950307

### Abstract of DE19509678

The top part (1) or surface areas have an acoustic impedance units which is as low as possible and can be virtually zero, and are formed as resonators, the resonance frequency of which corresponds to the frequency of the noise to be protected against. The top part or the surface areas have holed walling (3) and internal segmented hollow spaces (5,9). The top part has elongated, adjacently located channel pieces, which are upwardly open. The height of the top part or surface areas with targeted impedance and facing the noise input is given as  $h$ , and has a value which is greater than  $\lambda/4$ .



Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 195 09 678 C 1

⑤① Int. Cl.<sup>8</sup>:  
**G 10 K 11/16**  
E 01 F 8/00

②① Aktenzeichen: 195 09 678.9-53  
②② Anmeldetag: 7. 3. 95  
④③ Offenlegungstag: —  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 30. 5. 96

DE 195 09 678 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:  
Möser, Michael, Prof. Dr.-Ing., 12167 Berlin, DE

⑦④ Vertreter:  
PFENNING MEINIG & PARTNER, 10707 Berlin

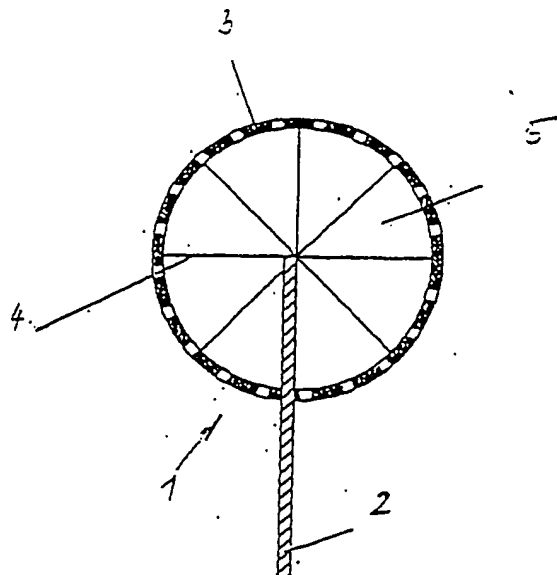
⑦② Erfinder:  
gleich Patentinhaber

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 93 11 323 U1  
US 44 38 179

⑤④ Schallschutzwand

⑤⑦ Es wird eine Schallschutzwand zur Schallabschattung zum Schutz gegen Lärm vorgeschlagen, bei der im Bereich ihrer oberen Kante ein Aufsatz (1) oder Flächenbereiche zumindest an und unter der Kante vorgesehen sind, die gezielt mit einer akustischen Impedanz belegt sind, die möglichst gering ist und gegen Null geht. Der Aufsatz oder die Flächenbereiche sind als Resonator ausgebildet, dessen Resonanzfrequenz der abzuschattenden Frequenz des Schalls entspricht.



DE 195 09 678 C 1

Die Erfindung betrifft eine Schallschutzwand nach dem Oberbegriff des Hauptanspruchs.

Es ist eine Vielzahl von Schallschutzwänden zum Schutz gegen Lärm an Verkehrsstraßen und Autobahnen und an Eisenbahnstrecken in Form von freistehenden Wällen oder Wänden bekannt, die derart ausgebildet sind, daß sie den Schall entweder durch reine Formgebung umlenken oder den Schall durch eine hoch eingestellte Absorption beeinflussen. Mehrfach haben Schallschirme in T-, Y- und J-Form den Gegenstand von Untersuchungen gebildet. Die Ergebnisse sowohl der Experimente als auch der Simulationsrechnungen lassen sich etwa wie folgt zusammenfassen:

Bei reflektierenden Schirmaufsätzen ohne Absorption ist die verbessernde Wirkung im allgemeinen sehr gering, wenn kleinere Körper als Aufsätze benutzt werden. Erst der mit den Abmessungen anwachsende Schallumweg führt zu einem Anstieg des Einfügungsdämmmaßes.

Beispielsweise erhielten D.N. May, M.M. Osman in "Highway Noise Barriers: New Shapes", Journal of Sound and Vibration 71(1), Seite 73 bis 101, 1980, im Versuch für T-förmige Schirme einen Dämmzuwachs von 2,2 DB (A) für einen 0,41 m breiten Aufsatz, 2,6 DB (A) für einen 0,61 m breiten Aufsatz, und von 4,6 DB (A) bei einer Breite von 4,88 m. Die Unterschiede zwischen den Formen sind sehr gering und vermutlich ebenfalls auf Einzelheiten in den geometrieabhängigen Umwegesetzen zurückzuführen. Die Autoren kommen zur Erkenntnis, daß sich die schallschluckende Ausstattung von Schirmaufsätzen in geringem Maß günstig auf die Einfügungsdämmung auswirkt. Die praktisch erreichten oder berechneten Verbesserungen sind dabei begreiflicherweise stark von der Größe des zusätzlichen Hindernisses und vom Frequenzgang der Absorption abhängig. So ergab die Computersimulation von D.C. Hothersall, D.H. Crombie und S.N. Chandler-Wilde, "The Performance of T-Profile and Associated Noise Barriers", Applied Acoustics 32, Seiten 269 bis 287, 1991, eine Erhöhung des Einfügungsdämmmaßes von 2 bis 10 Db mit wachsender Frequenz bei einem absorbierenden Schirmaufsatz von 2 m Breite. Kleine Aufsätze zeigten deutlich geringere Wirkung. May und Osman erzielten für eine Breite von 0,61 m einen Zuwachs um 1,9 Db (A) gegenüber dem Fall ohne Absorption. Ähnliche Tendenzen lassen sich auch für zylinderförmige Schirmaufsätze ablesen.

K. Fujiwara und N. Furuta "Sound Shielding Efficiency of a Barrier with a Cylinder at the Edge", Noise Control Engineering Journal 38 (1), 1991, untersuchten die Abschirmwirkung von Schallschirmen mit zylinderförmigen Aufsätzen durch Berechnungen, Modellmessungen sowie Messungen an einer bereits bestehenden Lärmschutzwand, auf die ein Aufsatz montiert wurde. Bei den Berechnungen zeigte sich für den schallharten Aufsatz ein Erfolg nur für große Beugungswinkel und hohe Frequenzen, während beim absorbierenden Zylinder deutliche Verbesserungen erwartet wurden (ca. 4 bis 10 Db, bezogen auf den Schallschirm mit schallhartem Zylinder). In Modellmessungen im reflexionsarmen Raum wurden Schallschirme aus 3 mm dickem Stahlblech untersucht. Der schallharte Zylinder bestand aus Kunststoff mit Durchmessern von 1,3 bis 4,5 cm, der absorbierende Zylinder aus einer 20 mm dicken Glasfaser-schicht mit einem Durchmesser von 7,5 cm. In der Schattenzone ergab sich eine erhöhte Dämmwirkung

von 7 bis 8 Db bei 10 KHz gegenüber dem Fall des schallharten Aufsatzes. In der anschließenden Untersuchung wurde eine konventionelle Schallschutzwand an einer Straße mit einem absorbierenden Zylinder ausgestattet (Durchmesser 50 cm, Absorptionsgrad 0,7 bei 500 Hz). Über einen Zeitraum von einer Woche wurden nachts zeitliche Mittelwerte des A-bewerteten Schallpegels vor und nach Aufbau des Aufsatzes an einer Mikrofonposition gemessen. Der Pegelunterschied betrug 2 bis 3 Db (vgl. auch DE 93 11 323 U1).

Zusammenfassend können folgende Schlüsse gezogen werden:

Bisherige Arbeiten versuchen lediglich durch geometrische Formgebung und Schallschluckung die Einfügungsdämmung von Schallschirmen zu erhöhen. Die erste Maßnahme greift erst dann, wenn die geometrischen Abmessungen der Schirmaufsätze schon so groß sind, daß der getriebene Aufwand bereits den der entsprechenden einfachen Schirmverlängerung übersteigt. Die absorbierende Ausgestaltung von Flächen bringt eine geringe Verbesserung, die aber hinter dem Aufwand zurückbleibt.

Zusätzlich zu den obengenannten versuchen, das Schattenfeld durch Formgebung oder/und Absorption zu beeinflussen, sind Lärmschutzwände konstruiert worden, die Verringerung des Schattenfeldes durch Interferenz erreichen wollen (DE 26 24 026 oder US 44 36 179). Die Wirkung von Schallschirmen vom Interferenztyp ist zu Recht in der Fachwelt stark umstritten; es liegen darüber nicht nur widersprüchliche Erfahrungsberichte vor, auch aus fachlicher Sicht scheint es sehr unwahrscheinlich, daß das Interferenzprinzip für mehr als eng begrenzte Raumgebiete genutzt werden kann. Um die folgenden Erklärungen und Beschreibungen leichter verständlich zu machen, sei hier eine Begriffsklärung der akustischen Impedanz versucht. Die Impedanz  $Z$  gibt den Widerstand an, der einer Schallwelle an einem bestimmten anzugebenden Ort entgegengesetzt wird. Hier wird die Impedanz stets auf die Oberfläche von Schirmaufsätzen bzw. auf die Fläche von Schirmen selbst bezogen. Davon abweichend besitzt auch die Luft selbst eine ortsunabhängige Impedanz, die als Kennimpedanz  $Z = \rho c$  ( $\rho$  = Dichte der Luft,  $c$  = Schallgeschwindigkeit in Luft) bezeichnet wird. Die Angabe einer Impedanz charakterisiert gleichzeitig die Schallreflexion: besitzt die Impedanz  $Z$  eines Körpers Werte, die von der Kennimpedanz  $\rho c$  der Luft abweichen, so findet eine lokale Reflexion statt, deren Größe vom Verhältnis  $Z/\rho c$  abhängt. Der Fall der "Anpassung"  $Z = \rho c$  beschreibt die reflexionsfreie einfache Weiterleitung im Kontinuum Luft und — wenn die Impedanz  $Z = \rho c$  auf einen Körper bezogen wird — die vollständige reflexionsfreie Schluckung der einfallenden Welle.

Weil bei der Reflexion von Schallfeldern neben der erwähnten (teilweisen) Absorption auch noch Phasenunterschiede zwischen hin- und rücklaufender Welle auftreten können, muß die Impedanz durch zwei reelle Zahlenwerte charakterisiert sein: sie wird deshalb allgemein durch eine komplexe Zahl mit Real- und Imaginärteil beschrieben. Rein reelle Impedanzen stellen Schlußkanordnungen dar, rein imaginäre Impedanzen geben den Fall der Totalreflexion ohne Schallabsorption an. Während der Realteil der Impedanz  $\text{Re}\{Z\}$  stets positiv ist (ein negativer Realteil beschriebe statt der Schluckung einen Schallsender), kann der Imaginärteil positive und negative Werte besitzen, weil auch die Phasenbeziehung zwischen auftretender und reflektierter Welle

voreilend oder nachteilig sein kann.

Im Fall positiver Imaginärteile  $\text{Im}\{Z\} > 0$  spricht man von "Massecharakter", weil sich starre, massebehaftete Körper so verhalten; nachgiebige, einfedernde (massefreie) Körper werden durch einen negativen Imaginärteil  $\text{Im}\{Z\} < 0$  in ihrer Wirkung gekennzeichnet, man spricht deshalb für  $\text{Im}\{Z\} < 0$  von "Federungs-" oder "Steifecharakter". Allgemein besitzen Körper und Aufbauten beide Eigenschaften, so daß der Imaginärteil der Impedanz als Summe zweier Anteile aufgefaßt werden kann. Zum Beispiel hat ein einfacher Resonator, bestehend aus einer Masse und einer Feder, für Frequenzen unterhalb der Resonanzfrequenz Steifecharakter, weil hier die Federimpedanz größer ist als die Massenimpedanz; in der Resonanzfrequenz kompensieren sich die Teile zu  $\text{Im}\{Z\} = 0$ , und oberhalb der Resonanzfrequenz liegt Masseverhalten vor. Die Dämpfung des Resonators wird durch den Realteil  $\text{Re}\{Z\}$  beschrieben.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Schallschutzwand zu schaffen, bei der das einfallende Schallfeld durch Wahl der akustischen Oberflächenbeschaffenheit des Schirmes bzw. der Schallwand im Kantenbereich möglichst weit von der Oberfläche abgestoßen wird und auf nichtrelevante, d. h. für den Schattenbereich "ungefährliche" Richtungen abgelenkt werden.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß der akustische Widerstand zum Zwecke guter Abschattung durch einen Aufsatz im Bereich der oberen Kante oder durch Ausbildung der Flächenbereiche an und unter der Kante möglichst geringgehalten wird. Der akustische Widerstand (= Impedanz) im Flächenbereich des Schallschirmes (bzw. des Aufsatzes) wird durch Resonatoren hergestellt. Sie können zum Beispiel realisiert werden durch

- einfache Helmholtz-Resonatoren (Fig. 1),
- mehrfache Helmholtz-Resonatoren (Fig. 2), wobei in beiden Fällen nebeneinanderliegende Segmente durch veränderte Lochbelegung und durch veränderte, innenliegende Segmentvolumina auf unterschiedliche Resonanzfrequenzen abgestimmt werden können, und
- durch Aufsätze, die aus Kanalstücken zusammengesetzt sind, die ebenfalls durch unterschiedliche Länge auf verschiedene Resonanzfrequenzen abgestimmt sein können.

Dieser Grundgedanke, die Körperbeschaffenheit "Impedanz" so zu wählen, daß der fließende Volumenfluß nebst dem damit einhergehenden Leistungstransport minimiert wird, ist bisher unerkannt geblieben. Bisher ist lediglich versucht worden, den Schall entweder durch reine Formgebung der Hindernisse umzulenken, durch eine hoch eingestellte Absorption oder durch teilweise Umlenkung zur Ausnutzung von Interferenzen zu beeinflussen. Der Gedanke, die "Schallabweisung" durch die Impedanz des Körpers herzustellen, ist grundsätzlich neu und von allen bisherigen Verfahren und Methoden zur verbesserten Schattenwirkung verschieden. Es wird eine Oberflächenimpedanz  $Z = 0$  angestrebt. Dieser Wert ist praktisch nur in einzelnen Frequenzen zu erreichen. Es kommt darauf an, in einem möglichst großen Frequenzband möglichst geringe Impedanzwerte innerhalb gewisser (noch näher genannter) Grenzen herzustellen.

Es hat sich gezeigt, daß Impedanzen sowohl mit positivem Realteil (Schluckung) als auch mit positivem Imaginärteil (Massecharakter) die Abschirmwirkung verrin-

gern. Dabei wird die verschlechternde Wirkung für Verlustimpedanzen schneller erreicht als für den Fall des Masseverhaltens. Die Abnahme der günstigen Wirkung vollzieht sich insbesondere bei Massecharakter sehr allmählich. Die günstige Wirkung wird also gerade nicht durch die Schallschluckung verursacht, die im Gegenteil kleinzuhalten ist. Für den praktischen Aufbau wird mit schwach gedämpften Resonatoren der Frequenzbereich oberhalb der Resonanzfrequenz mit Masseverhalten genutzt, wobei eine große Wirkungsbreite (wie bei Resonanzabsorbern) mit kleinen Massen einhergeht.

Negative Imaginärteile (Federungscharakter) wirken sich bei kleinen Zahlenwerten zunächst nicht verschlechternd, sondern sogar schwach verbessernd aus; ab einem gewissen Zahlenwert  $\text{Im}\{Z/\rho c\} \leq -|Z_{\text{opt}}|/\rho c$  setzen dagegen erhebliche Nachteile ein: die Abschirmwirkung sinkt unter den Fall der unbehandelten schallharten Wand.

Durch die in den Unteransprüchen angegebenen Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen möglich.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen Schnitt durch ein erstes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Schallschutzwand mit Aufsatz,

Fig. 2 einen Schnitt durch ein zweites Ausführungsbeispiel der Schallschutzwand mit Aufsatz,

Fig. 3 einen Schnitt durch ein drittes Ausführungsbeispiel der Schallschutzwand mit Aufsatz, und

Fig. 4 eine schematische Darstellung eines vierten Ausführungsbeispiels als integrierte Schallschutzwand.

In den Fig. 1, 2 und 3 sind Aufsätze für bekannte und bereits vorhandene Schallschutzwände zum Zwecke der schalltechnischen Nachbesserung und in der Fig. 4 ist eine Schallschutzwand mit integrierten Impedanzflächen dargestellt, wobei die Höhe  $h$  der mit gezielter Impedanz belegten Fläche, die in etwa dem Durchmesser des Aufsatzes entspricht, vorzugsweise so groß wie möglich gemacht werden sollte, da die Wirkung mit der Höhe  $h$  ansteigt. Wenn dies jedoch aufgrund der vorgegebenen Randbedingungen hinsichtlich der Abmessungen nicht möglich ist, soll als Mindesthöhe  $h > \lambda/4$  eingehalten werden, wobei  $\lambda$  die Luftschall-Wellenlänge mit  $\lambda = c/f$  ist und  $c$  die Schallausbreitungsgeschwindigkeit in Luft 340 m/s. Grundsätzlich richtet sich ebenso wie die Konstruktion zur Herstellung der erforderlichen Impedanz auch die Höhe  $h$  nach den ausschlaggebenden Frequenzbestandteilen des störenden Lärms. In den meisten Fällen, die den Straßen- oder Schienenverkehrslärm betreffen, muß der Bereich oberhalb von 400 Hz betrachtet werden, das entspricht  $h > 20$  cm. Eine sinnvolle Dimensionierung sieht etwa  $h = 35$  cm bis  $h = 40$  cm vor.

Die komplexe Impedanz  $Z$  des Aufsatzes bzw. des Flächenbereiches der integrierten Schallwand, die sich aus einem Realteil und einem Imaginärteil zusammensetzt, sollte so realisiert werden, daß sie gegen Null geht. Diese ist mit auf die zu dämmende Frequenz abgestimmten Resonatoren erreichbar, wobei für die Praxis Grenzbereiche vorhanden sind, in denen von Null abweichende Impedanzwerte noch sinnvoll sind.

Im Bereich des Massecharakters sollen Impedanzwerte

$$\text{Im}\{Z/\rho c\} \leq 2,5$$

eingehalten werden. Werte größer als Null sind grundsätzlich verschlechternd.

Auch der Realteil der Impedanz sollte gegen Null gehen und zieht grundsätzlich für einen von Null verschiedenen Wert eine Verschlechterung der Abschirmung im Schatten der Schallschutzwand nach sich. Jedoch spielt er eine Rolle im Zusammenhang mit der Steifeimpedanz wie im folgenden erläutert wird.

Bei den Impedanzen mit Steifecharakter treten zwei prinzipielle und zu unterscheidende Effekte auf, die dem Bereich kleiner und großer Steifewerte zugeordnet werden können. Für kleine Steifen bildet die Wandung eines Aufsatzes oder des Flächenbereiches an der Kante der Schallschutzwand im Zusammenspiel mit der sie umgebenden Luftmasse einen eigenständigen Wellenleiter, der freie Wellen führen kann. Diese Wellen bilden im Resonanzfall in Umfangsrichtung stehende Kriechwellen, die einen erheblichen Schallfeldbestandteil bilden können und eine Verschlechterung der gewünschten Dämmwirkung mit sich bringen können. Dies kann jedoch durch kleine Dämpfungen verhindert werden, d. h. die Auswirkung der Impedanz mit Steifecharakter kann durch kleine Impedanz-Realteile fast ganz zum Verschwinden gebracht werden. Der Verlustimpedanzbereich soll dabei im Bereich Frequenzbereich

$$0 < \operatorname{Re}(Z/\rho c) < 0,2$$

liegen.

Wie ausgeführt wurde, ist die Impedanz kleiner Steifewerte für die erwünschte Dämmwirkung der Schallschutzwand schädlich, sie kann aber durch kleine Dämpfung vermieden werden. Unter der Voraussetzung schwacher Dämpfung findet dann nur noch eine Reflexion am Körper mit Steifecharakter so statt, daß der Druckknoten des Schallfeldes (der für  $Z = 0$  direkt auf der Oberfläche des Aufsatzes bzw. des Flächenbereiches liegt) etwas oberhalb der Oberfläche liegt, die dadurch akustisch vergrößert erscheint. Solange das Gebiet zwischen Druckknoten und Oberfläche noch keine tangentialen Flüsse führen kann, steigt das Verbesserungsmaß der Dämmung mit wachsender Steifeimpedanz zunächst ein wenig an, bis es ein Optimum erreicht. Darüber erfolgt jedoch ein plötzlicher Umschlag; tritt der Knoten ins Licht, so zerfällt er nicht nur sofort, sondern obendrein steigt der Druck auf der Oberfläche stark an, was ein negatives Verbesserungsmaß zur Folge hat. Die optimale Steifeimpedanz wird für einen zylinderförmigen Aufsatz mit einem Zylinderradius  $b$  vorgegeben als

$$|Z_{\text{opt}}|/\rho c = 0,75 (b/\lambda)^{1/3}.$$

Bei Anordnungen mit Resonanzfrequenzgang muß die optimale Steifeimpedanz bei der tiefsten noch interessierenden Frequenz eingestellt werden.

Bei anderen Querschnitten des Aufsatzes und von integralen Schallschirmen wird als Anhaltswert für  $|Z_{\text{opt}}|/\rho c$  der Wert 1 gewählt.

Die obigen Betrachtungen zeigen, daß ein gewisser Impedanzspielraum bei der Verbesserung der Schallschutzwände durch Aufsätze auf den Kanten oder durch integrierte Impedanzbelegung zur Verfügung steht.

Zusammenfassend sind günstige Wirkungen der Maßnahmen zu erwarten, wenn im interessierenden Frequenzbereich kleine Dämpfungen zur Vermeidung von Kriechwellen vorgesehen werden und der Impedanzfrequenzgang möglichst klein gehalten wird, wobei

$$-|Z_{\text{opt}}/\rho c| \leq \operatorname{Im}(Z/\rho c) < 2,5$$

etwa ein noch akzeptables Intervall angibt. Diese Forderungen können natürlich immer nur innerhalb gewisser Frequenzbänder erfüllt werden, und entsprechend der vorliegenden Erfindung werden sie anhand von Resonatoren realisiert, deren Impedanz in der Resonanzfrequenz nur durch die gering zu wählende Dämpfung gegeben ist, wobei die Parameter so gewählt werden, daß sich ein möglichst breites Band mit hinreichend kleinen Impedanzen ergibt.

In Fig. 1 ist die prinzipielle Möglichkeit zur Konstruktion eines zylindrischen Aufsatzes 1 auf eine an sich bekannte Schallschutzwand 2 dargestellt. Der zylindrische Aufsatz, der als Außenwand 3 beispielsweise ein Lochblech oder ein gelochtes Kunststoffrohr aufweist, ist als Helmholtz-Resonator ausgebildet und ist im Innenraum mit Zwischenwänden 4 versehen, wodurch sich segmentierte Hohlräume 5 ergeben. Die gelochte Außenwand weist eine dünne Dämpfungsschicht zur Vermeidung von Kriechwellen auf, die eine geringe Dämpfung, angegeben durch den Realteil der Impedanz  $Z$ , vorgeben. Auch die Hohlräume 5 weisen eine kleine Dämpfung auf.

Die Impedanz eines solchen Aufbaus beträgt:

$$\frac{Z}{\rho c} = \frac{\Xi d}{\rho c} + j \left( \frac{\omega m''}{\rho c} - \frac{s''}{\rho c} \frac{1}{\omega} \right)$$

worin

$$\omega = 2 \pi f$$

$\Xi$  den längenspezifischen Strömungswiderstand des Absorbermaterials mit der Dicke  $d$ ,

$m''$  die flächenbezogene Masse, d. h. die pro Flächeneinheit schwingende Masse, mit

$$m'' = \rho(w + 1,6a)/\alpha,$$

$w$  = Wandungsdicke,

$a$  = Radius der kreisförmigen Löcher,

$\alpha$  = Lochanteil,

$s''$  = flächenbezogene Steife mit  $s''/\rho c = c/h$ ,

$h$  = wirksame Hohlraumtiefe, in Fig. 1  $h = b/2$ , wobei  $b$  der Radius ist,

darstellen.

Die Dimensionierung des Resonators folgt dem gleichen Prinzip wie bei der Auslegung von Resonanzabsorbern, die Änderung  $dZ/d\omega$ ; der Impedanz in der Resonanzfrequenz ist durch die Masse  $m''$  bestimmt ( $dZ/d\omega = 2 m''$  für  $\omega = \omega_0 = \sqrt{s''/m''}$ ), eine große Bandbreite mit kleiner Impedanz erfordert deshalb grundsätzlich eine möglichst geringe Massenbelegung. Die zur Abstimmung auf die gewünschte Resonanzfrequenz

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{\rho c^2}{m'' h}}$$

erforderliche Masse muß möglichst klein und die wirksame Hohlraumtiefe  $h$  entsprechend groß gewählt werden. Die Wahl der oben angegebenen bestimmenden Parameter richtet sich nach der in Frage stehenden Frequenzzusammensetzung des Lärms (diese bestimmt die Wahl der Resonanzfrequenz) und nach dem Aufwand, der an umschlossenem Volumen bereitgestellt wird. Große Volumina ermöglichen die Abstimmung auf die gewünschte Resonanzfrequenz mit kleinen Massenbelä-

gen  $m''$  und erhöhen so die Frequenzbandbreite, in der die Schirmwirkung verbessert wird.

Auf Straßenverkehrslärm mit einem vor allem interessierenden Frequenzbereich  $500 \text{ Hz} < f < 1000 \text{ Hz}$  ist die Resonanzfrequenz vorzugsweise auf  $700 \text{ Hz}$  festzulegen. Bei einem Zylinderdurchmesser von  $32 \text{ cm}$  kann die erforderliche Massenbelegung von  $m''$  ungefähr  $= \rho \lambda_0 / 10$  ( $\lambda_0$  Wellenlänge der Resonanzfrequenz) z. B. mit einem Lochanteil von  $\alpha = 0,2$  und Kreisbohrungen von  $12 \text{ min}$  Durchmesser erzielt werden. Die verbessernde Wirkung umfaßt eine Oktave und beträgt bei Beugungswinkeln von  $22,5^\circ$  etwa  $5 \text{ dB}$ .

In Fig. 2 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel von einem Aufsatz für die Schirmkante dargestellt, wobei hier eine Mehrfachkombination von Hohlräumen und gelochten Wandungen benutzt wird, wodurch Mehrfachresonatoren gebildet werden. Dabei wird eine größere Frequenzbandbreite erzielt. Innerhalb der gelochten Zylinderwandung 3 ist eine weitere Zylinderwandung 6, die gleichfalls mit Löchern 7 versehen ist, angeordnet. Die Zwischenwände werden auch innerhalb des inneren Zylinders 8 zur Bildung von segmentartigen Hohlräumen 9 vorgesehen. Auch hier bilden die innenliegenden segmentartigen Hohlräume 5, 9 eine Steifeimpedanz, die von der Masseimpedanz der gelochten Zylinderwandung 3, 6 kompensiert wird.

Fig. 3 zeigt einen Schirmaufsatz mit Resonatoren in Form von Kanalstücken 13 mit kleiner Dämpfung, die nebeneinanderliegend angeordnet, nach oben offen und nach unten geschlossen sind. Die Höhe und Anzahl der jeweiligen Kanalstücke 13 wird entsprechend dem gewünschten Resonanzverhalten und der zu erzielenden Bandbreite gewählt. Die Querschnittsform ist auch hier nur beispielhaft gewählt, andere Querschnitte (rund, oval, eckig usw.) sind denkbar.

Die schallabweisenden Eigenschaften der in Fig. 1, 2 und 3 dargestellten Aufsätze lassen sich auch in die Schallschutzwand selbst integrieren. Eine derartige Schallschutzwand 10 ist in Fig. 4 dargestellt, und der obere Flächenbereich 11 der dem Schalleinfall 12 zugewandten Seite ist entsprechend den obigen Ausführungen mit einer Impedanz belegt, und er ist gleichfalls als innenliegende segmentierte Hohlräume mit gelochter Wandung ausgebildet. In Fig. 4 weist der obere Bereich der Schallschutzwand 10 die Form einer Halbellipse auf, es können auch andere, z. B. geneigte und zur Quelle hin gekrümmte oder überhängende Konstruktionen verwendet werden.

Die Formgebung des Schirmaufsatzes sowie die Gestaltung integraler Schirme bzw. Schallschutzwände hat einen geringen Einfluß auf die Wirkung. Die Auslegung muß lediglich genügend umschlossenes Volumen sicherstellen, damit die dargelegte Herstellung von Resonatoren auch möglich ist.

Die Schallschutzwand selbst, die mit dem erfindungsgemäßen Aufsatz versehen wird, kann in bekannter Weise ausgeführt sein und schallharte und/oder reflektierende und/oder absorbierende Eigenschaften aufweisen.

#### Patentansprüche

1. Schallschutzwand zur Schallabschattung zum Schutz gegen Lärm, dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich ihrer oberen Kante ein Aufsatz (1) oder Flächenbereiche (11) zumindest an und unter der Kante vorgesehen sind, die gezielt mit einer akustischen Impedanz belegt sind, die möglichst gering

ist und gegen Null geht, wobei der Aufsatz oder die Flächenbereiche als Resonator ausgebildet sind, dessen Resonanzfrequenz der abzuschattenden Frequenz des Schalls entspricht.

2. Schallschutzwand nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Aufsatz oder die Flächenbereiche gelochte Wandungen (3, 6) und innenliegende segmentierte Hohlräume (5, 9) aufweist bzw. aufweisen.

3. Schallschutzwand nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Aufsatz langgestreckte, nebeneinanderliegende Kanalstücke (13) aufweist, die nach oben offen sind.

4. Schallschutzwand nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Höhe des dem Schalleinfall zugewandten, mit gezielter Impedanz versehenen Aufsatzes oder Flächenbereiches  $h > \lambda/4$  beträgt.

5. Schallschutzwand nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Aufsatz oder der Flächenbereich einen kreisförmigen, elliptischen, rechteckförmigen oder leicht schräg nach vorn oder nach hinten gezogenen unsymmetrischen Querschnitt aufweist.

6. Schallschutzwand nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erhöhung der wirksamen Frequenzbandbreite der Aufsatz oder die Flächenbereiche Mehrfachresonatoren mit verschiedenen abgestimmten Impedanzen aufweist bzw. aufweisen.

7. Schallschutzwand nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß zur Vermeidung von Kriechwellen auf der Oberfläche des Aufsatzes oder des Flächenbereiches eine Verlustimpedanz von  $0 < \text{Re}(Z/\rho c) < 0,2$  vorgesehen ist und daß der Imaginärteil der Impedanz möglichst klein ist und zwischen  $-|Z_{\text{opt}}|/\rho c \leq \text{Im}[Z/\rho c] < 2,5$  liegt.

8. Schallschutzwand nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der zylinderförmige Aufsatz eine gelochte Außenhaut (3) aus Metall oder Kunststoff und einen durch eine Mehrzahl von Zwischenwänden (4) segmentierten Hohlraum (5) aufweist, wobei Außenhaut und segmentartige Hohlräume (5) mit einer dünnen Dämpfungsschicht versehen ist.

9. Schallschutzwand nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß für den zylindrischen Aufsatz eine optimale Steifeimpedanz von  $|Z_{\text{opt}}|/\rho c = 0,75(b/\lambda)^{1/3}$  ( $b$  = Radius) und für die anderen Formen der Aufsätze ein Wert von ungefähr 1 gewählt wird.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

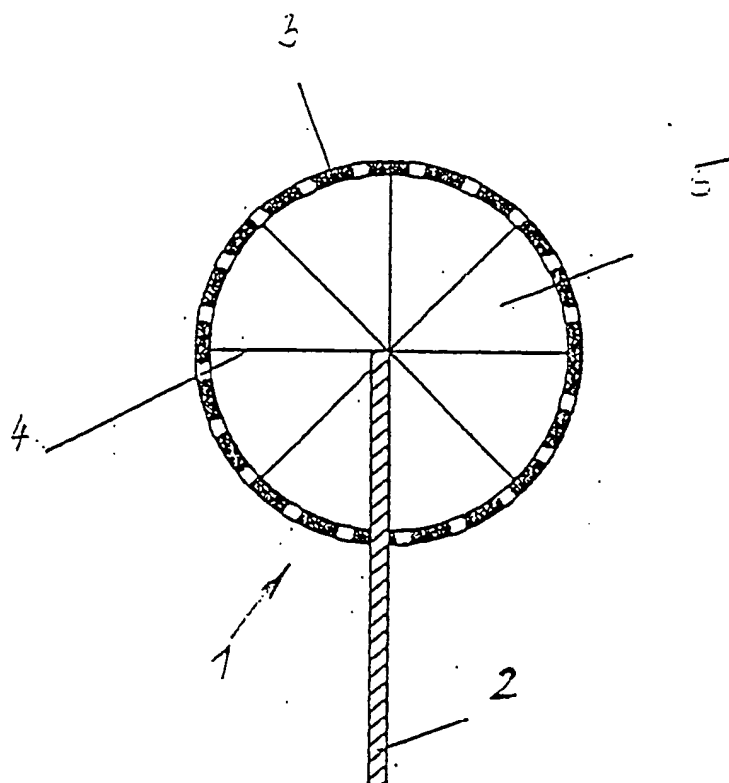


Fig. 1



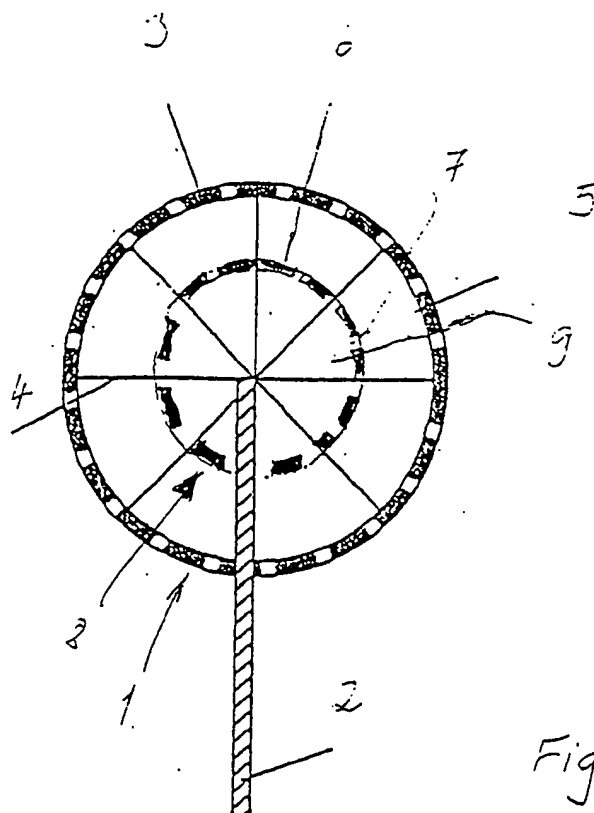


Fig. 2

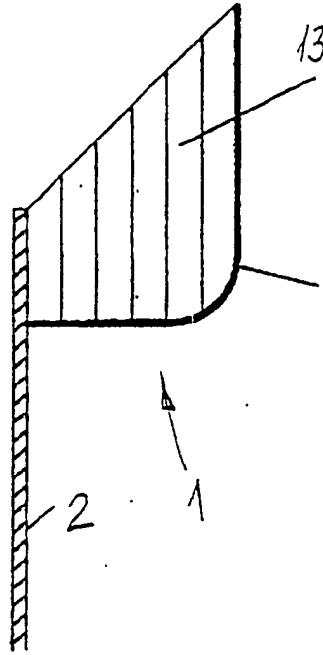


Fig. 3

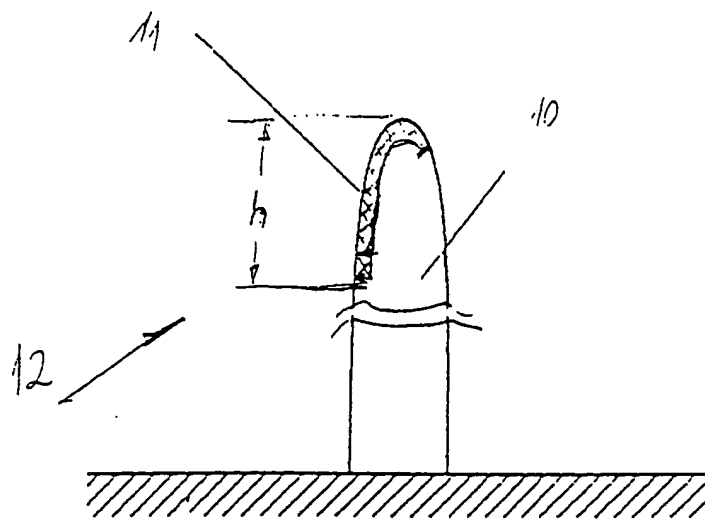


Fig. 4



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 195 09 678 C 2

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 10 K 11/16**  
E 01 F 8/00

⑦ Aktenzeichen: 195 09 678.9-53  
⑦ Anmeldetag: 7. 3. 1995  
④ Offenlegungstag: -  
④ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 30. 5. 1996  
④ Veröffentlichungstag  
des geänderten Patents: 21. 8. 2003

DE 195 09 678 C 2

Patentschrift nach Einspruchsverfahren geändert

⑦3 Patentinhaber:  
Deutsche Bahn AG, 10785 Berlin, DE

⑦2 Erfinder:  
Möser, Michael, Prof. Dr.-Ing., 12167 Berlin, DE

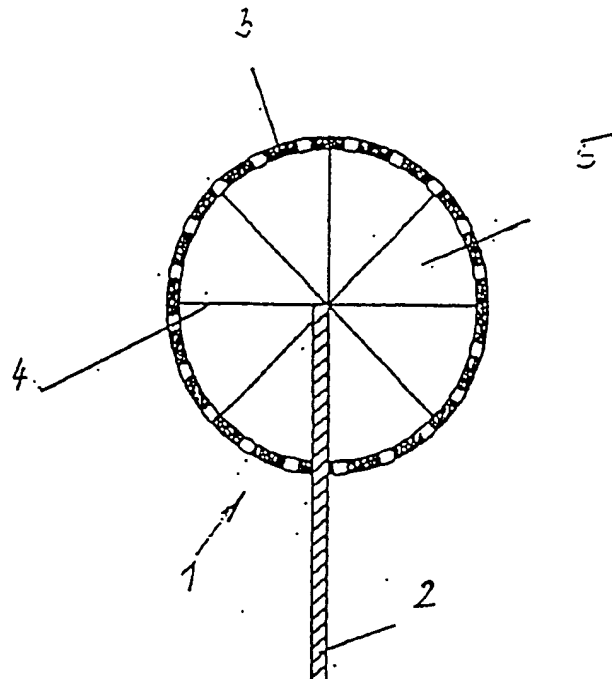
⑤5 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 30 20 849 A1  
DE 93 11 323 U1  
US 44 36 179

ACUSTICA: Untersuchungen an Kammerdämpfern,  
Vol. 15 (1965) S. 139-150;  
SCHALLABSORBER, Bd. 1, S. Hirzel Verlag  
Stuttgart 1989, Kapitel 6.6-6.8;

⑤4 Schallschutzwand

⑤7 Schallschutzwand zur Schallabschattung zum Schutz  
gegen Lärm, bei der im Bereich ihrer oberen Kante ein  
Aufsatz (1) oder Flächenbereiche (11) zumindest an und  
unter der Kante vorgesehen sind, die gezielt mit einer  
akustischen Impedanz belegt sind, die möglichst gering  
ist und gegen Null geht, wobei der Aufsatz oder die Flä-  
chenbereiche als Resonator ausgebildet sind, dessen Re-  
sonanzfrequenz der abzuschattenden Frequenz des  
Schalls entspricht, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ver-  
meidung von Kriechwellen auf der Oberfläche des Aufsat-  
zes oder des Flächenbereiches eine Verlustimpedanz von  
 $0 < \text{Re}(Z/\rho c) < 0,2$  vorgesehen ist und dass der Imaginär-  
teil der Impedanz möglichst klein ist und zwischen  
 $-\text{Im}(Z/\rho c) \leq \text{Im}(Z/\rho c) < 2,5$  liegt.



DE 195 09 678 C 2

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Schallschutzwand nach dem Oberbegriff des Hauptanspruches.

[0002] Es ist eine Vielzahl von Schallschutzwänden zum Schutz gegen Lärm an Verkehrsstrassen und Autobahnen und an Eisenbahnstrecken in Form von freistehenden Wällen oder Wänden bekannt, die derart ausgebildet sind, dass sie den Schall entweder durch reine Formgebung umlenken oder den Schall durch eine hoch eingestellte Absorption beeinflussen. Mehrfach haben Schallschirme in T-, Y- und J-Form den Gegenstand von Untersuchungen gebildet. Die Ergebnisse sowohl der Experimente als auch der Simulationsrechnungen lassen sich etwa wie folgt zusammenfassen: Bei reflektierenden Schirmaufsätzen ohne Absorption ist die verbessernde Wirkung im allgemeinen sehr gering, wenn kleinere Körper als Aufsätze benutzt werden. Erst der mit den Abmessungen anwachsende Schallumweg führt zu einem Anstieg des Einfügungsdämmmaßes.

[0003] Beispielsweise erhielten D. N. May, M. M. Osman in "Highway Noise Barriers: New Shapes", Journal of Sound and Vibration 71 (1), Seite 73 bis 101, 1980, im Versuch für T-förmige Schirme einen Dämmzuwachs von 2,2 dB (A) für einen 0,41 m breiten Aufsatz, 2,6 dB (A) für einen 0,61 m breiten Aufsatz, und von 4,6 dB (A) bei einer Breite von 4,88 m. Die Unterschiede zwischen den Formen sind sehr gering und vermutlich ebenfalls auf Einzelheiten in den geometrieabhängigen Umweggesetzen zurückzuführen. Die Autoren kommen zur Erkenntnis, dass sich die schallschluckende Ausstattung von Schirmaufsätzen in geringem Maß günstig auf die Einfügungsdämmung auswirkt. Die praktisch erreichten oder berechneten Verbesserungen sind dabei begreiflicherweise stark von der Größe des zusätzlichen Hindernisses und vom Frequenzgang der Absorption abhängig. So ergab die Computersimulation von D. C. Hotherhall, D. H. Crombie und S. N. Chandler-Wilde, "The Performance of T-Profile and Associated Noise Barriers", Applied Acoustics 32, Seiten 269 bis 287, 1991, eine Erhöhung des Einfügungsdämmmaßes von 2 bis 10 dB mit wachsender Frequenz bei einem absorbierenden Schirmaufsatz von 2 m Breite. Kleine Aufsätze zeigten deutlich geringere Wirkung. May und Osman erzielten für eine Breite von 0,61 m einen Zuwachs um 1,9 dB (A) gegenüber dem Fall ohne Absorption. Ähnliche Tendenzen lassen sich auch für zylinderförmige Schirmaufsätze ablesen.

[0004] K. Fujiwara und N. Furuta "Sound Shielding Efficiency of a Barrier with a Cylinder at the Edge", Noise Control Engineering Journal 38 (1), 1991, untersuchten die Abschirmwirkung von Schallschirmen mit zylinderförmigen Aufsätzen durch Berechnungen, Modellmessungen sowie Messungen an einer bereits bestehenden Lärmschutzwand, auf die ein Aufsatz montiert wurde. Bei den Berechnungen zeigte sich für den schallharten Aufsatz ein Erfolg nur für große Beugungswinkel und hohe Frequenzen, während beim absorbierenden Zylinder deutliche Verbesserungen erwartet wurden (ca. 4 bis 10 dB, bezogen auf den Schallschirm mit schallhartem Zylinder). In Modellmessungen im reflexionsarmen Raum wurden Schallschirme aus 3 mm dickem Stahlblech untersucht. Der schallharte Zylinder bestand aus Kunststoff mit Durchmessern von 1,3 bis 4,5 cm, der absorbierende Zylinder aus einer 20 mm dicken Glasfaser-schicht mit einem Durchmesser von 7,5 cm. In der Schattenzone ergab sich eine erhöhte Dämmwirkung von 7 bis 8 dB bei 10 KHz gegenüber dem Fall des schallharten Aufsatzes. In der anschließenden Untersuchung wurde eine konventionelle Schallschutzwand an einer Straße mit einem absorbierenden Zylinder ausgestattet (Durchmesser 50 cm, Absorptionsgrad 0,7 bei 500 Hz). Über einen Zeitraum von

einer Woche wurden nachts zeitliche Mittelwerte des A-bewerteten Schallpegels vor und nach Aufbau des Aufsatzes an einer Mikrofonposition gemessen. Der Pegelunterschied betrug 2 bis 3 dB (vgl. auch DE 93 11 323 U1).

[0005] Ferner ist aus DE 30 20 849 ein Schallschirm zur sekundären Verringerung der Emission und/oder Immission bekannt, an dessen Schirmwand Resonatoren, insbesondere Helmholtz-Resonatoren und/oder Silatoren angebracht sind.

[0006] Zusammenfassend können folgende Schlüsse gezogen werden:

Bisherige Arbeiten versuchen lediglich durch geometrische Formgebung und Schallschluckung die Einfügungsdämmung von Schallschirmen zu erhöhen. Die erste Maßnahme greift erst dann, wenn die geometrischen Abmessungen der Schirmaufsätze schon so groß sind, dass der getriebene Aufwand bereits den der entsprechenden einfachen Schirmverlängerung übersteigt. Die absorbierende Ausgestaltung von Flächen bringt eine geringe Verbesserung, die aber hinter dem Aufwand zurückbleibt.

[0007] Zusätzlich zu den obengenannten Versuchen, das Schattenfeld durch Formgebung oder/und Absorption zu beeinflussen, sind Lärmschutzwände konstruiert worden, die eine Verringerung des Schattenfeldes durch Interferenz erreichen wollen (DE 26 24 026 oder US 44 36 179). Die Wirkung von Schallschirmen vom Interferenztyp ist zu Recht in der Fachwelt stark umstritten; es liegen darüber nicht nur widersprüchliche Erfahrungsberichte vor, auch aus fachlicher Sicht scheint es sehr unwahrscheinlich, dass das Interferenzprinzip für mehr als eng begrenzte Raumgebiete genutzt werden kann. Um die folgenden Erklärungen und Beschreibungen leichter verständlich zu machen, sei hier eine Begriffsklärung der akustischen Impedanz versucht. Die Impedanz  $Z$  gibt den Widerstand an, der einer Schallwelle an einem bestimmten anzugebenden Ort entgegengesetzt wird. Hier wird die Impedanz stets auf die Oberfläche von Schirmaufsätzen bzw. auf die Fläche von Schirmen selbst bezogen. Davon abweichend besitzt auch die Luft selbst eine ortsunabhängige Impedanz, die als Kennimpedanz  $Z = \rho c$  ( $\rho$  = Dichte der Luft,  $c$  = Schallgeschwindigkeit in Luft) bezeichnet wird. Die Angabe einer Impedanz charakterisiert gleichzeitig die Schallreflexion: besitzt die Impedanz  $Z$  eines Körpers Werte, die von der Kennimpedanz  $\rho c$  der Luft abweichen, so findet eine lokale Reflexion statt, deren Größe vom Verhältnis  $Z/\rho c$  abhängt. Der Fall der "Anpassung"  $Z = \rho c$  beschreibt die reflexionsfreie einfache Weiterleitung im Kontinuum Luft und – wenn die Impedanz  $Z = \rho c$  auf einen Körper bezogen wird – die vollständige reflexionsfreie Schluckung der einfallenden Welle.

[0008] Weil bei der Reflexion von Schallfeldern neben der erwähnten (teilweisen) Absorption auch noch Phasenunterschiede zwischen hin- und rücklaufender Welle auftreten können, muss die Impedanz durch zwei reelle Zahlenwerte charakterisiert sein: sie wird deshalb allgemein durch eine komplexe Zahl mit Real- und Imaginärteil beschrieben. Rein reelle Impedanzen stellen Schluckanordnungen dar, rein imaginäre Impedanzen geben den Fall der Totalreflexion ohne Schallabsorption an. Während der Realteil der Impedanz  $\text{Re}\{Z\}$  stets positiv ist (ein negativer Realteil beschrieb eine Schluckung eines Schallsenders), kann der Imaginärteil positive und negative Werte besitzen, weil auch die Phasenbeziehung zwischen auftretender und reflektierter Welle voreilend oder nacheilend sein kann.

[0009] Im Fall positiver Imaginärteile  $\text{Im}\{Z\} > 0$  spricht man von "Massecharakter", weil sich starre, massebehaftete Körper so verhalten; nachgiebige, einfedernde (masselose) Körper werden durch einen negativen Imaginärteil  $\text{Im}\{Z\} < 0$  in ihrer Wirkung gekennzeichnet, man spricht deshalb für  $\text{Im}\{Z\} < 0$  von "Federungs-" oder "Steifecharakter". Allge-

mein besitzen Körper und Aufbauten beide Eigenschaften, so dass der Imaginärteil die Impedanz als Summe zweier Anteile aufgefasst werden kann. Zum Beispiel hat ein einfacher Resonator, bestehend aus einer Masse und einer Feder, für Frequenzen unterhalb der Resonanzfrequenz Steifecharakter, weil hier die Federimpedanz größer ist als die Massenimpedanz; in der Resonanzfrequenz kompensieren sich die Teile zu  $\text{Im}(Z) = 0$ , und oberhalb der Resonanzfrequenz liegt Masseverhalten vor. Die Dämpfung des Resonators wird durch den Realteil  $\text{Re}(Z)$  beschrieben.

[0010] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Schallschutzwand zu schaffen, bei der das einfallende Schallfeld durch Wahl der akustischen Oberflächenbeschaffenheit des Schirmes bzw. der Schallwand im Kantenbereich möglichst weit von der Oberfläche abgestoßen wird und auf nichtrelevante, d. h. für den Schattenbereich "ungefährliche" Richtungen abgelenkt werden.

[0011] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass zur Vermeidung von Kriechwellen auf der Oberfläche des Aufsatzes oder des Flächenbereiches eine Verlustimpedanz von  $0 < \text{Re}(z/\rho c) < 0.2$  vorgesehen ist und dass der Imaginärteil der Impedanz möglichst klein ist und zwischen  $-\text{Im}(z/\rho c) \leq \text{Im}(Z/\rho c) < 2.5$  liegt. Der akustische Widerstand (= Impedanz) im Flächenbereich des Schallschirmes (bzw. des Aufsatzes) wird durch Resonatoren hergestellt. Sie können zum Beispiel realisiert werden durch

- einfache Helmholtz-Resonatoren (Fig. 1),
- mehrfache Helmholtz-Resonatoren (Fig. 2), wobei in beiden Fällen nebeneinanderliegende Segmente durch veränderte Lochbelegung und durch veränderte, innenliegende Segmentvolumina auf unterschiedliche Resonanzfrequenzen abgestimmt werden können, und durch Aufsätze, die aus Kanalstücken zusammengesetzt sind, die ebenfalls durch unterschiedliche Länge auf verschiedene Resonanzfrequenzen abgestimmt sein können.

[0012] Dieser Grundgedanke, die Körperbeschaffenheit "Impedanz" so zu wählen, dass der fließende Volumenfluss nebst dem damit einhergehenden Leistungstransport minimiert wird, ist bisher unerkannt geblieben. Bislang ist lediglich versucht worden, den Schall entweder durch reine Formgebung der Hindernisse umzulenken, durch eine hoch eingestellte Absorption oder durch teilweise Umlenkung zur Ausnutzung von Interferenzen zu beeinflussen. Der Gedanke, die "Schallabweisung" durch die Impedanz des Körpers herzustellen, ist grundsätzlich neu und von allen bisherigen Verfahren und Methoden zur verbesserten Schattenschirmwirkung verschieden. Es wird eine Oberflächenimpedanz  $Z = 0$  angestrebt. Dieser Wert ist praktisch nur in einzelnen Frequenzen zu erreichen. Es kommt darauf an, in einem möglichst großen Frequenzband möglichst geringe Impedanzwerte innerhalb gewisser (noch näher genannter) Grenzen herzustellen.

[0013] Es hat sich gezeigt, dass Impedanzen sowohl mit positivem Realteil (Schluckung) als auch mit positivem Imaginärteil (Massecharakter) die Abschirmwirkung verringern. Dabei wird die verschlechternde Wirkung für Verlustimpedanzen schneller erreicht als für den Fall des Masseverhaltens. Die Abnahme der günstigen Wirkung vollzieht sich insbesondere bei Massecharakter sehr allmählich. Die günstige Wirkung wird also gerade nicht durch die Schallschluckung verursacht, die im Gegenteil kleinzuhalten ist. Für den praktischen Aufbau wird mit schwach gedämpften Resonatoren der Frequenzbereich oberhalb der Resonanzfrequenz mit Masseverhalten genutzt, wobei eine große Wirkungsbreite (wie bei Resonanzabsorbern) mit kleinen

Massen einhergeht.

[0014] Negative Imaginärteile (Federungscharakter) wirken sich bei kleinen Zahlenwerten zunächst nicht verschlechternd, sondern sogar schwach verbessernd aus; ab einem gewissen Zahlenwert  $\text{Im}(Z/\rho c) \leq -\text{Im}(z/\rho c)$  setzen dagegen erhebliche Nachteile ein: die Abschirmwirkung sinkt unter den Fall der unbehandelten schallharten Wand.

[0015] Durch die in den Unteransprüchen angegebenen Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen möglich.

[0016] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

[0017] Fig. 1 einen Schnitt durch ein erstes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Schallschutzwand mit Aufsatz.

[0018] Fig. 2 einen Schnitt durch ein zweites Ausführungsbeispiel der Schallschutzwand mit Aufsatz.

[0019] Fig. 3 einen Schnitt durch ein drittes Ausführungsbeispiel der Schallschutzwand mit Aufsatz, und

[0020] Fig. 4 eine schematische Darstellung eines vierten Ausführungsbeispiels als integrierte Schallschutzwand.

[0021] In den Fig. 1, 2 und 3 sind Aufsätze für bekannte und bereits vorhandene Schallschutzwände zum Zwecke der schalltechnischen Nachbesserung und in der Fig. 4 ist eine Schallschutzwand mit integrierten Impedanzflächen dargestellt, wobei die Höhe  $h$  der mit gezielter Impedanz belegten Fläche, die in etwa dem Durchmesser des Aufsatzes entspricht, vorzugsweise so groß wie möglich gemacht werden sollte, da die Wirkung mit der Höhe  $h$  ansteigt. Wenn dies jedoch aufgrund der vorgegebenen Randbedingungen hinsichtlich der Abmessungen nicht möglich ist, soll als Mindesthöhe  $h > \lambda/4$  eingehalten werden, wobei  $\lambda$  die Luftschall-Wellenlänge mit  $\lambda = c/f$  ist und  $c$  die Schallausbreitungsgeschwindigkeit in Luft 340 m/s. Grundsätzlich richtet sich ebenso wie die Konstruktion zur Herstellung der erforderlichen Impedanz auch die Höhe  $h$  nach den ausschlaggebenden Frequenzbestandteilen des störenden Lärms. In den meisten Fällen, die den Straßen- oder Schienenverkehrslärm betreffen, muss der Bereich oberhalb von 400 Hz betrachtet werden, das entspricht  $h > 20$  cm. Eine sinnvolle Dimensionierung sieht etwa  $h = 35$  cm bis  $h = 40$  cm vor.

[0022] Die komplexe Impedanz  $Z$  des Aufsatzes bzw. des Flächenbereiches der integrierten Schallwand, die sich aus einem Realteil und einem Imaginärteil zusammensetzt, sollte so realisiert werden, dass sie gegen Null geht. Diese ist mit auf die zu dämmende Frequenz abgestimmten Resonatoren erreichbar, wobei für die Praxis Grenzbereiche vorhanden sind, in denen von Null abweichende Impedanzwerte noch sinnvoll sind.

[0023] Im Bereich des Massecharakters sollen Impedanzwerte

$$\text{Im}(Z/\rho c) \leq 2.5$$

eingehalten werden. Werte größer als Null sind grundsätzlich verschlechternd.

[0024] Auch der Realteil der Impedanz sollte gegen Null gehen und zieht grundsätzlich für einen von Null verschiedenen Wert eine Verschlechterung der Abschirmung im Schatten der Schallschutzwand nach sich. Jedoch spielt er eine Rolle im Zusammenhang mit der Steifeimpedanz, wie im folgenden erläutert wird.

[0025] Bei den Impedanzen mit Steifecharakter treten zwei prinzipielle und zu unterscheidende Effekte auf, die dem Bereich kleiner und großer Steifewerte zugeordnet werden können. Für kleine Steifen bildet die Wandung eines Aufsatzes oder des Flächenbereiches an der Kante der

Schallschutzwand im Zusammenspiel mit der sie umgebenden Luftmasse einen eigenständigen Wellenleiter, der freie Wellen führen kann. Diese Wellen bilden im Resonanzfall in Umfangsrichtung stehende Kriechwellen, die einen erheblichen Schallfeldbestandteil bilden können und eine Verschlechterung der gewünschten Dämmwirkung mit sich bringen können. Dies kann jedoch durch kleine Dämpfungen verhindert werden, d. h. die Auswirkung der Impedanz mit Steifecharakter kann durch kleine Impedanz-Realteile fast ganz zum Verschwinden gebracht werden. Der Verlustimpedanzbereich soll dabei im Bereich Frequenzbereich

$$0 < \operatorname{Re}(Z/\rho c) < 0,2$$

liegen.

[0026] Wie ausgeführt wurde, ist die Impedanz kleiner Steifewerte für die erwünschte Dämmwirkung der Schallschutzwand schädlich, sie kann aber durch kleine Dämpfung vermieden werden. Unter der Voraussetzung schwacher Dämpfung findet dann nur noch eine Reflexion am Körper mit Steifecharakter so statt, dass der Druckknoten des Schallfeldes (der für  $Z = 0$  direkt auf der Oberfläche des Aufsatzes bzw. des Flächenbereiches liegt) etwas oberhalb der Oberfläche liegt, die dadurch akustisch vergrößert erscheint. Solange das Gebiet zwischen Druckknoten und Oberfläche noch keine tangentialen Flüsse führen kann, steigt das Verbesserungsmaß der Dämmung mit wachsender Steifeimpedanz zunächst ein wenig an, bis es ein Optimum erreicht. Darüber erfolgt jedoch ein plötzlicher Umschlag; tritt der Knoten ins Licht, so zerfällt er nicht nur sofort, sondern obendrein steigt der Druck auf der Oberfläche stark an, was ein negatives Verbesserungsmaß zur Folge hat. Die optimale Steifeimpedanz wird für einen zylinderförmigen Aufsatz mit einem Zylinderradius  $b$  vorgegeben als

$$|Z_{\text{opt}}|/\rho c \approx 0,75(b/\lambda)^{1/3}.$$

[0027] Bei Anordnungen mit Resonanzfrequenzgang muss die optimale Steifeimpedanz bei der tiefsten noch interessierenden Frequenz eingestellt werden.

[0028] Bei anderen Querschnitten des Aufsatzes und von integralen Schallschirmen wird als Anhaltswert für  $|Z_{\text{opt}}|/\rho c$  der Wert 1 gewählt.

[0029] Die obigen Betrachtungen zeigen, dass ein gewisser Impedanzspielraum bei der Verbesserung der Schallschutzwände durch Aufsätze auf den Kanten oder durch integrierte Impedanzbelegung zur Verfügung steht.

[0030] Zusammenfassend sind günstige Wirkungen der Maßnahmen zu erwarten, wenn im interessierenden Frequenzbereich kleine Dämpfungen zur Vermeidung von Kriechwellen vorgesehen werden und der Impedanzfrequenzgang möglichst klein gehalten wird, wobei

$$-|Z_{\text{opt}}|/\rho c \leq \operatorname{Im}\{Z/\rho c\} < 2,5$$

etwa ein noch akzeptables Intervall angibt. Diese Forderungen können natürlich immer nur innerhalb gewisser Frequenzbänder erfüllt werden, und entsprechend der vorliegenden Erfindung werden sie anhand von Resonatoren realisiert, deren Impedanz in der Resonanzfrequenz nur durch die gering zu wählende Dämpfung gegeben ist, wobei die Parameter so gewählt werden, dass sich ein möglichst breites Band mit hinreichend kleinen Impedanzen ergibt.

[0031] In Fig. 1 ist die prinzipielle Möglichkeit zur Konstruktion eines zylindrischen Aufsatzes 1 auf eine an sich bekannte Schallschutzwand 2 dargestellt. Der zylindrische Aufsatz, der als Außenwand 3 beispielsweise ein Lochblech oder ein gelochtes Kunststoffrohr aufweist, ist als Helm-

holtz-Resonator ausgebildet und ist im Innenraum mit Zwischenwänden 4 versehen, wodurch sich segmentierte Hohlräume 5 ergeben. Die gelochte Außenwand weist eine dünne Dämpfungsschicht zur Vermeidung von Kriechwellen auf, die eine geringe Dämpfung, angegeben durch den Realteil der Impedanz  $Z$ , vorgeben. Auch die Hohlräume 5 weisen eine kleine Dämpfung auf.

[0032] Die Impedanz eines solchen Aufbaus beträgt:

$$\frac{Z}{\rho c} = \frac{\Xi d}{\rho c} + j \left( \frac{\omega m''}{\rho c} - \frac{s''}{\rho c \omega} \right)$$

worin

$$\omega = 2\pi f,$$

$\Xi$  den längenspezifischen Strömungswiderstand des Absorbermaterials mit der Dicke  $d$ ,

$m''$  die flächenbezogene Masse, d. h. die pro Flächeneinheit schwingende Masse, mit  $m'' = \rho(w + 1,6a)/\alpha$ ,

$$w = \text{Wandungsdicke},$$

$a = \text{Radius der kreisförmigen Löcher},$

$\alpha = \text{Lochanteil},$

$s'' = \text{flächenbezogene Steife mit } s''/\rho c = c/h,$

$h = \text{wirksame Hohlräumtiefe, in Fig. 1 } h = b/2$ , wobei  $b$  der

$$\text{Radius ist,}$$

darstellen.

[0033] Die Dimensionierung des Resonators folgt dem gleichen Prinzip wie bei der Auslegung von Resonanzabsorbern: die Änderung  $dZ/d\omega$  der Impedanz in der Resonanzfrequenz ist durch die Masse  $m''$  bestimmt ( $dZ/d\omega = 2m''$  für  $\omega = \omega_0 = \sqrt{s''/m''}$ ). Eine große Bandbreite mit kleiner Impedanz erfordert deshalb grundsätzlich eine möglichst geringe Massenbelegung. Die zur Abstimmung auf die gewünschte Resonanzfrequenz

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{\rho c^2}{m'' h}}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{\rho c^2}{m'' h}}$$

erforderliche Masse muss möglichst klein und die wirksame Hohlräumtiefe  $h$  entsprechend groß gewählt werden. Die Wahl der oben angegebenen bestimmenden Parameter richtet sich nach der in Frage stehenden Frequenzzusammensetzung des Lärms (diese bestimmt die Wahl der Resonanzfrequenz) und nach dem Aufwand, der an umschlossenem Volumen bereitgestellt wird. Große Volumina ermöglichen die Abstimmung auf die gewünschte Resonanzfrequenz mit kleinen Massenbelägen  $m''$  und erhöhen so die Frequenzbandbreite, in der die Schirmwirkung verbessert wird.

[0034] Auf Straßenverkehrslärm mit einem vor allem interessierenden Frequenzbereich  $500 \text{ Hz} < f < 1000 \text{ Hz}$  ist die Resonanzfrequenz vorzugsweise auf  $700 \text{ Hz}$  festzulegen. Bei einem Zylinderdurchmesser von  $32 \text{ cm}$  kann die erforderliche Massenbelegung von  $m''$  ungefähr  $= \rho \lambda_0/10$  ( $\lambda_0$  Wellenlänge der Resonanzfrequenz) z. B. mit einem Lochanteil von  $\alpha = 0,2$  und Kreisbohrungen von  $12 \text{ mm}$  Durchmesser erzielt werden. Die verbessernde Wirkung umfasst eine Oktave und beträgt bei Beugungswinkeln von  $22,5^\circ$  etwa  $5 \text{ dB}$ .

[0035] In Fig. 2 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel von einem Aufsatz für die Schirmkante dargestellt, wobei hier eine Mehrfachkombination von Hohlräumen und gelochten Wandungen benutzt wird, wodurch Mehrfachresonatoren gebildet werden. Dabei wird eine größere Frequenzbandbreite erzielt. Innerhalb der gelochter Zylinderwandung 3 ist eine weitere Zylinderwandung 6 die gleichfalls mit Löchern 7 versehen ist, angeordnet. Die Zwischenwände werden auch innerhalb des inneren Zylinders 8 zur Bildung von segmentartigen Hohlräumen 9 vorgesehen. Auch hier bilden die

innenliegenden segmentartigen Hohlräume 5, 9 eine Steifeimpedanz, die von der Masseimpedanz der gelochten Zylinderwandung 3, 6 kompensiert wird.

[0036] Fig. 3 zeigt einen Schirmaufsatz mit Resonatoren in Form von Kanalstücken 13 mit kleiner Dämpfung, die nebeneinanderliegend angeordnet, nach oben offen und nach unten geschlossen sind. Die Höhe und Anzahl der jeweiligen Kanalstücke 13 wird entsprechend dem gewünschten Resonanzverhalten und der zu erzielenden Bandbreite gewählt. Die Querschnittsform ist auch hier nur beispielhaft gewählt, andere Querschnitte (rund, oval, eckig usw.) sind denkbar.

[0037] Die schallabweisenden Eigenschaften der in Fig. 1, 2 und 3 dargestellten Aufsätze lassen sich auch in die Schallschutzwand selbst integrieren. Eine derartige Schallschutzwand 10 ist in Fig. 4 dargestellt, und der obere Flächenbereich 11 der dem Schalleinfall 12 zugewandten Seite ist entsprechend den obigen Ausführungen mit einer Impedanz belegt, und er ist gleichfalls als innenliegende segmentierte Hohlräume mit gelochter Wandung ausgebildet. In Fig. 4 weist der obere Bereich der Schallschutzwand 10 die Form einer Halbellipse auf. Es können auch andere, z. B. geneigte und zur Quelle hin gekrümmte oder überhängende Konstruktionen verwendet werden.

[0038] Die Formgebung des Schirmaufsatzes sowie die Gestaltung integraler Schirme bzw. Schallschutzwände hat einen geringen Einfluss auf die Wirkung. Die Auslegung muss lediglich genügend umschlossenes Volumen sicherstellen, damit die dargelegte Herstellung von Resonatoren auch möglich ist.

[0039] Die Schallschutzwand selbst, die mit dem erfindungsgemäßen Aufsatz versehen wird, kann in bekannter Weise ausgeführt sein und schallharte und/oder reflektierende und oder absorbierende Eigenschaften aufweisen.

#### Patentansprüche

1. Schallschutzwand zur Schallabschattung zum Schutz gegen Lärm, bei der im Bereich ihrer oberen Kante ein Aufsatz (1) oder Flächenbereiche (11) zumindest an und unter der Kante vorgesehen sind, die gezielt mit einer akustischen Impedanz belegt sind, die möglichst gering ist und gegen Null geht, wobei der Aufsatz oder die Flächenbereiche als Resonator ausgebildet sind, dessen Resonanzfrequenz der abzuschattenden Frequenz des Schalls entspricht, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Vermeidung von Kriechwellen auf der Oberfläche des Aufsatzes oder des Flächenbereiches eine Verlustimpedanz von  $0 < \text{Re}(Z/\rho c) < 0.2$  vorgesehen ist und dass der Imaginärteil der Impedanz möglichst klein ist und zwischen  $-\text{Im}(Z_{\text{opt}})/\rho c \leq \text{Im}(Z/\rho c) < 2.5$  liegt.
2. Schallschutzwand nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der zylinderförmige Aufsatz eine gelochte Aussenhaut (3) aus Metall oder Kunststoff und einen durch eine Mehrzahl von Zwischenwänden (4) segmentierten Hohlraum (5) aufweist, wobei Außenhaut und segmentartige Hohlräume (5) mit einer dünnen Dämpfungsschicht versehen ist.
3. Schallschutzwand nach einem der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, dass für den zylindrischen Aufsatz eine optimale Steifeimpedanz von  $\text{Im}(Z_{\text{opt}})/\rho c = 0,75(b\lambda)^{1/3}$  (wobei  $b$  = Radius) und für die anderen Formen der Aufsätze ein Wert von ungefähr 1 gewählt wird.



- Leerseite -

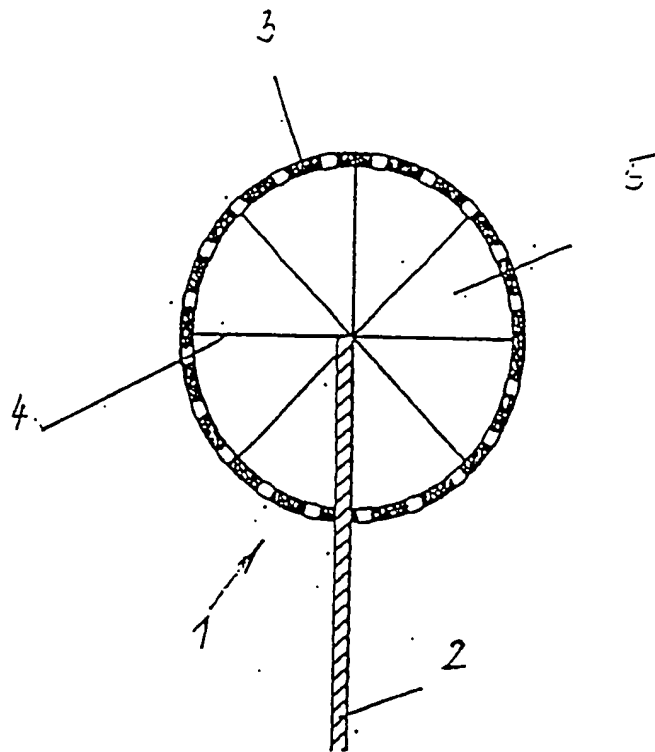


Fig. 1

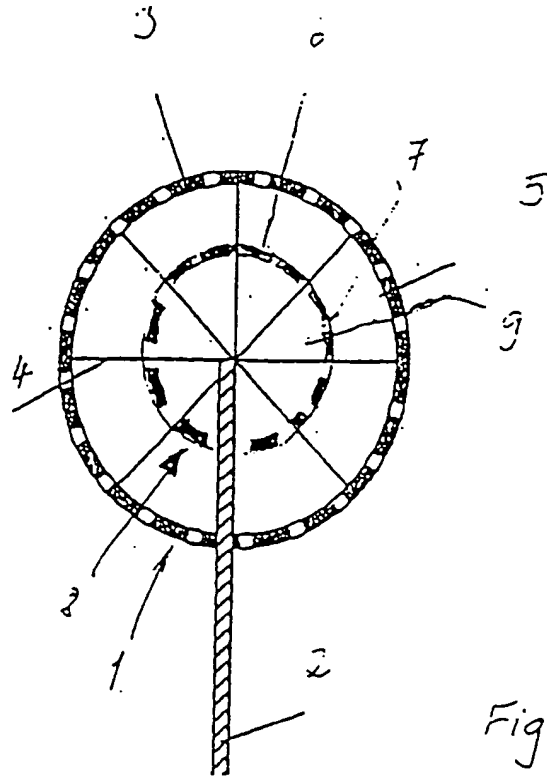


Fig. 2

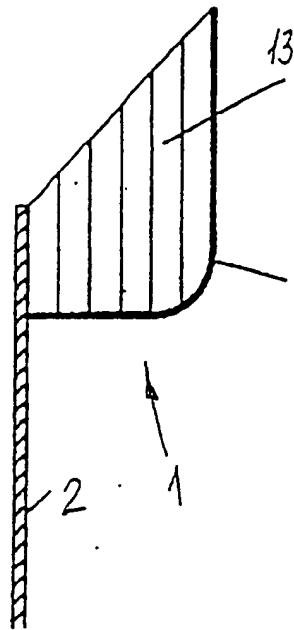


Fig. 3

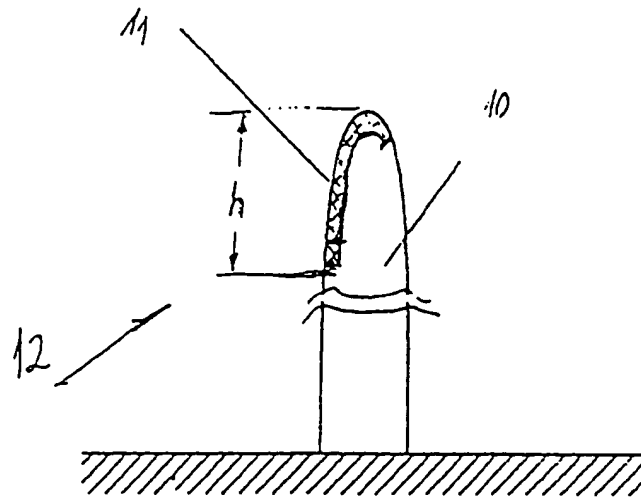


Fig. 4

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☒ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: \_\_\_\_\_**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**